

JP5232333

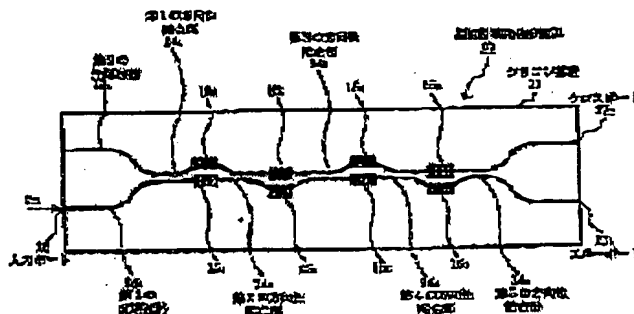
2099

1/2 517 菅 原

Patent number: JP5232333
 Publication date: 1993-09-10
 Inventor: JINGUJI KANAME; KAWACHI MASAO
 Applicant: NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE
 Classification:
 - international: G02B6/12; G02F1/313
 - european: G02F1/313C
 Application number: JP19920036584 19920224
 Priority number(s): JP19920036584 19920224

Abstract of JP5232333

PURPOSE:To improve the transmission characteristics of the waveguide type optical multiplexer demultiplexer without spoiling its speediness. **CONSTITUTION:**The waveguide type optical multiplexer demultiplexer 10 includes a silicon substrate 11, a glass layer (not shown in figure) formed on the silicon substrate 11, a 1st optical waveguide 131 and a 2nd optical waveguide 132 which are formed in the glass layer, 1st-5th directional coupling parts 141-145 which are formed by putting the intermediate parts of the optical waveguides 131 and 132 put close to each other at five places, 1st-8th thin film heaters 151-158; and a 1st fundamental constitution circuit and a 2nd fundamental constitution circuit are arranged almost optically symmetrically about the center point (3rd directional coupling part 143) of the circuit.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-232333

(43)公開日 平成5年(1993)9月10日

(51)Int.Cl.⁵

G 0 2 B 6/12
G 0 2 F 1/313

識別記号

庁内整理番号

D 7036-2K
7246-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数4(全 13 頁)

(21)出願番号 特願平4-36584

(22)出願日 平成4年(1992)2月24日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 神宮寺 要

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 河内 正夫

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

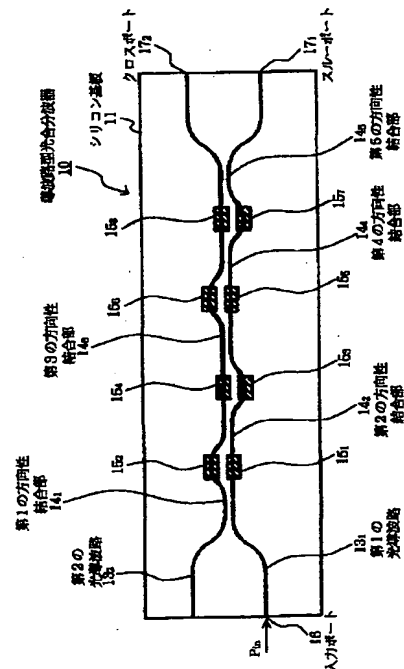
(74)代理人 弁理士 若林 忠

(54)【発明の名称】 導波路型光合分波器

(57)【要約】

【目的】 導波路型光合分波器を、高速性を損なうことなく透過特性の改善が図れるようにする。

【構成】 導波路型光合分波器10は、シリコン基板11と、シリコン基板11上に形成されたガラス層(不図示)と、該ガラス層内に形成された第1の光導波路13₁、および第2の光導波路13₂と、各光導波路13₁、13₂の中間部が5箇所互いに近接されて順次形成された第1乃至第5の方向性結合部14₁~14₅と、第1乃至第8の薄膜ヒータ15₁~15₈を含み、第1の基本構成回路と第2の基本構成回路とが回路の中心点(第3の方向性結合部14₃)に対して光学的にはほぼ点対称に配置されるよう構成されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、該基板上に形成された第1の光導波路および第2の光導波路とを含み、

該第1および第2の光導波路のいずれか一方の光導波路から入射された2つの信号光を分波して、該2つの信号光のいずれか一方の信号光を前記一方の光導波路から出射させるとともに、前記2つの信号光の他方の信号光を前記第1および第2の光導波路の他方の光導波路から出射させ、

前記第1の光導波路から入射された信号光と前記第2の光導波路から入射された信号光とを合波して、前記第1および第2の光導波路のいずれか一方の光導波路から出射させる導波路型光合分波器において、

前記第1の光導波路と前記第2の光導波路との中間部が5箇所互いに近接されて順次形成された第1乃至第5の方向性結合部を含み、

前記第1の方向性結合部と前記第2の方向性結合部との間では、前記第2の光導波路の方が前記第1の光導波路よりも第1の光路長差だけ長く、

前記第2の方向性結合部と前記第3の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路の方が前記第2の光導波路よりも第2の光路長差だけ長く、

前記第3の方向性結合部と前記第4の方向性結合部との間では、前記第2の光導波路の方が前記第1の光導波路よりも第3の光路長差だけ長く、

前記第4の方向性結合部と前記第5の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路の方が前記第2の光導波路よりも第4の光路長差だけ長く、

前記第1乃至第4の光路長差が、等しいかほぼ等しく、前記第1の方向性結合部の結合率と前記第5の方向性結合部の結合率が、等しいかほぼ等しく、

前記第2の方向性結合部の結合率と前記第4の方向性結合部の結合率が、等しいかほぼ等しいことを特徴とする導波路型光合分波器。

【請求項2】 前記第1の方向性結合部と前記第2の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路の方が前記第2の光導波路よりも第1の光路長差だけ長く、

前記第2の方向性結合部と前記第3の方向性結合部との間では、前記第2の光導波路の方が前記第1の光導波路よりも第2の光路長差だけ長く、

前記第3の方向性結合部と前記第4の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路の方が前記第2の光導波路よりも第3の光路長差だけ長く、

前記第4の方向性結合部と前記第5の方向性結合部との間では、前記第2の光導波路の方が前記第1の光導波路よりも第4の光路長差だけ長いことを特徴とする請求項1記載の導波路型光合分波器。

【請求項3】 前記第3の方向性結合部の代わりに、該第3の方向性結合部の結合率の半分の結合率を有する第6の方向性結合部および前記第3の方向性結合部の結合

率の半分の結合率を有する第7の方向性結合部を含み、前記第6の方向性結合部と前記第7の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路73、の光路長と前記第2の光導波路の光路長とが等しいかほぼ等しいことを特徴とする請求項1または請求項2記載の導波路型光合分波器。

【請求項4】 前記第1の光導波路と前記第2の光導波路とがそれぞれ、平面基板上に形成された石英系ガラス層に埋設された、石英系ガラスからなるコア部より構成された石英系単一モード光導波路であることを特徴とする請求項1乃至請求項3いずれか1項記載の光合分波器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、導波路型光合分波器に関し、特に、光通信分野などで用いられる、波長の異なる2つ以上の信号光を合波または分波する導波路型光合分波器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】光通信分野では、周波数の異なる信号光を多重化して伝送する技術が重要である。すなわち、異なる光導波路をそれぞれ伝搬してきた、周波数の異なる2つ以上の信号光を合波して一本の光導波路に収束させるとともに、一本の光導波路を伝搬してきた、周波数の異なる2つ以上の信号光を分波して各光導波路に周波数ごとに分解するための光合分波器は、光通信分野においてキーとなる部品である。

【0003】図8は、従来の代表的な導波型光合分波器の一つであるマッハツェンダ光干渉計型光合分波器の一例を示す平面図である。

【0004】マッハツェンダ光干渉計型光合分波器100は、平面基板101と、平面基板101上に形成された第1の光導波路102aおよび第2の光導波路102bと、各光導波路102a、102bの中間部が2箇所互いに近接されて形成された第1の方向性結合部103aおよび第2の方向性結合部103bと、第1の方向性結合部103aと第2の方向性結合部103bとの間の第1の光導波路102aの上方に形成された第1の薄膜ヒータ108aと、第1の方向性結合部103aと第2の方向性結合部103bとの間の第2の光導波路102bの上方に形成された第2の薄膜ヒータ108bとを含む。ここで、第1の方向性結合部103aと第2の方向性結合部103bとはそれぞれ、3dBカップラとして機能する。

【0005】マッハツェンダ光干渉計型光合分波器100では、第1の方向性結合部103aと第2の方向性結合部103bとの間の第2の光導波路102bの導波路長 $L + \Delta L$ は、第1の方向性結合部103aと第2の方向性結合部103bとの間の第1の光導波路102aの導波路長 L よりも導波路長差 ΔL だけ長くなっているため、第2の光導波路102bの入力ポート104bから入力された、第1の周波数 f の信号光 $P_{through}$ と第2の周波数 $f + \Delta f$ の信号光 P_{cross} と

が多重された信号光 P_{in} は、第1の方向性結合部103aおよび第2の方向性結合部103bを通過することによって等パワーに分割され、第1の周波数 f の信号光 $P_{through}$ は第2の光導波路102bの出力ポート105bから出力され、第2の周波数 $f + \Delta f$ の信号光 P_{cross} は第1の光導波路102aの出力ポート105aから出力される。信号光 P_{in} に対する信号光 P_{cross} の光強度透過度 T_{cross} の周波数依存性(透過特性)の一例を図9に実線で、また、信号光 P_{in} に対する信号光 $P_{through}$ の光強度透過度 $T_{through}$ の周波数依存性(透過特性)の一例を図9に破線でそれぞれ示す。この例では、2つの光強度透過度 $T_{through}$ 、 T_{cross} は周波数に対して正弦関数的に変化し、その周期の間隔は10GHzである。したがって、マッハツェンダ光干渉計型光合分波器100を用いることにより、第1の方向性結合部103aと第2の方向性結合部103bとの間の導波路長差 ΔL を利用して、周波数の異なる信号光を分波することができる。

【0006】一般に、周波数多重通信の場合、信号は、キャリア周波数の両側の側帯周波数を利用して伝搬される。このため、キャリア周波数を中心にして一定の周波数帯において透過特性が一定であることが望ましい。しかし、図8に示したマッハツェンダ光干渉計型光合分波器100では、2つの光強度透過度 $T_{through}$ 、 T_{cross} は周波数に対して正弦関数的に変化するため、側帯周波数領域全体にわたって一定の透過特性をもたせることができず、信号光 $P_{through}$ および信号光 P_{cross} が歪んでしまうという問題がある。

【0007】この問題の解決が図れる導波型光合分波器の一つとして、図10に示すマッハツェンダ光干渉計型光合分波器200が提案されている。

【0008】マッハツェンダ光干渉計型光合分波器200は、以下に示す点で、図8に示したマッハツェンダ光干渉計型光合分波器100と異なる。

(1) 第1の方向性結合部203aと第2の方向性結合部203bとの間の第1の光導波路202aの図示下側にリング路206が設けられており、第1の方向性結合部203aと第2の方向性結合部203bとの間の第1の光導波路202aとリング路206とが互いに近接されることにより、第3の方向性結合部203cが形成されている。

(2) 第1の薄膜ヒータ208aが、第1の方向性結合部203aと第2の方向性結合部203bとの間の第1の光導波路202aの上方に形成される代わりに、図示下側のリング路206の上方に形成されている。

【0009】すなわち、マッハツェンダ光干渉計型光合分波器200は、透過特性の改善を図るため、リング路206と第3の方向性結合部203cとをリング共振器として機能させて周期的な遅延を与えるものである。図11に、信号光 P_{in} に対する信号光 P_{cross} の光強度透過度 T_{cross} の周波数依存性(透過特性)の一例を示す。図11に示すように、マッハツェンダ光干渉計型光合分波器

200では、光強度透過度 T_{cross} は周波数に対して矩形的に変化し、透過特性の改善が図られている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来のマッハツェンダ光干渉計型光合分波器200では、周期的な遅延を与えて透過特性の改善を図るため、第2の導波路202bの入力ポート204bから入力された信号光 P_{in} がリング路206に長く留まる結果、時間応答が著しく劣化して、高速な光通信の分野には適用できないという問題がある。

【0011】本発明の目的は、高速性を損なうことなく透過特性の改善が図れる導波路型光合分波器を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の導波路型光合分波器は、基板と、該基板上に形成された第1の光導波路および第2の光導波路とを含み、該第1および第2の光導波路のいずれか一方の光導波路から入射された2つの信号光を分波して、該2つの信号光のいずれか一方の信号光を前記一方の光導波路から出射させるとともに、前記2つの信号光の他方の信号光を前記第1および第2の光導波路の他方の光導波路から出射させ、前記第1の光導波路から入射された信号光と前記第2の光導波路から入射された信号光とを合波して、前記第1および第2の光導波路のいずれか一方の光導波路から出射させる導波路型光合分波器において、前記第1の光導波路と前記第2の光導波路との中間部が5箇所互いに近接されて順次形成された第1乃至第5の方向性結合部を含み、前記第1の方向性結合部と前記第2の方向性結合部との間では、前記第2の光導波路の方が前記第1の光導波路よりも第1の光路長差だけ長く、前記第2の方向性結合部と前記第3の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路の方が前記第2の光導波路よりも第2の光路長差だけ長く、前記第3の方向性結合部と前記第4の方向性結合部との間では、前記第2の光導波路の方が前記第1の光導波路よりも第3の光路長差だけ長く、前記第4の方向性結合部と前記第5の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路の方が前記第2の光導波路よりも第4の光路長差だけ長く、前記第1乃至第4の光路長差が、等しいかほぼ等しく、前記第1の方向性結合部の結合率と前記第5の方向性結合部の結合率とが、等しいかほぼ等しく、前記第2の方向性結合部の結合率と前記第4の方向性結合部の結合率とが、等しいかほぼ等しい。

【0013】ここで、前記第1の方向性結合部と前記第2の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路の方が前記第2の光導波路よりも第1の光路長差だけ長く、前記第2の方向性結合部と前記第3の方向性結合部との間では、前記第2の光導波路の方が前記第1の光導波路よりも第2の光路長差だけ長く、前記第3の方向性結合部と前記第4の方向性結合部との間では、前記第1の光

導波路の方が前記第2の光導波路よりも第3の光路長差だけ長く、前記第4の方向性結合部と前記第5の方向性結合部との間では、前記第2の光導波路の方が前記第1の光導波路よりも第4の光路長差だけ長くてよい。

【0014】また、前記第3の方向性結合部の代わりに、該第3の方向性結合部の結合率の半分の結合率を有する第6の方向性結合部および前記第3の方向性結合部の結合率の半分の結合率を有する第7の方向性結合部を含み、前記第6の方向性結合部と前記第7の方向性結合部との間では、前記第1の光導波路73、の光路長と前記第2の光導波路の光路長とが等しいかほぼ等しくてもよい。

【0015】さらに、前記第1の光導波路と前記第2の光導波路とがそれぞれ、平面基板上に形成された石英系ガラス層に埋設された、石英系ガラスからなるコア部より構成された石英系単一モード光導波路であってもよい。

【0016】

【作用】本発明の導波路型光合分波器は、第1の光導波路と第2の光導波路との中間部が5箇所互いに近接されて順次形成された第1乃至第5の方向性結合部を含み、後述するように、第1の基本構成回路と第2の基本構成回路とが回路の中心点（第3の方向性結合部14、）に対して光学的にほぼ点対称に配置されるよう構成されていることにより、後述する理由によって、光強度透過度が“1”となる周波数帯および“0”となる周波数帯を平坦化することができる。

【0017】

【実施例】次に、本発明の実施例について図面を参照して説明する。

【0018】図1は、本発明の導波路型光合分波器の第1の実施例を示す平面図である。

【0019】導波路型光合分波器10は、シリコン基板11と、シリコン基板11上に形成された、膜厚50μm程度の SiO_2 系ガラスからなるガラス層（不図示）と、該ガラス層内に形成された第1の光導波路13、および第2の光導波路13、と、各光導波路13、13、の中間部が5箇所互いに近接されて順次形成された第1乃至第5の方向性結合部14、14、と、第1の方向性結合部14、と第2の方向性結合部14、との間の第1および第2の光導波路13、13、の上方でかつ前記ガラス層上にそれぞれ形成された第1および第2の薄膜ヒータ15、15、と、第2の方向性結合部14、と第3の方向性結合部14、との間の第1および第2の光導波路13、13、の上方でかつ前記ガラス層上にそれぞれ形成された第3および第4の薄膜ヒータ15、15、と、第3の方向性結合部14、と第4の方向性結合部14、との間の第1および第2の光導波路13、13、の上方でかつ前記ガラス層上にそれぞれ形成された第5および第6の薄膜ヒータ15、15、と、第4の方向

性結合部14、と第5の方向性結合部14、との間の第1および第2の光導波路13、13、の上方でかつ前記ガラス層上にそれぞれ形成された第7および第8の薄膜ヒータ15、15、を含む。

【0020】次に、各光導波路13、13、各方向性結合部14、14、および各薄膜ヒータ15、15、について詳しく説明する。

【0021】（1）各光導波路13、13、

第1の光導波路13、および第2の光導波路13、はそれぞれ、 SiO_2 - GeO_2 系ガラスからなるコア部より構成された石英系単一モード光導波路であり、コア部が8μm角程度の断面形状を有するものである。

【0022】また、第1の方向性結合部14、と第2の方向性結合部14、との間では、第2の光導波路13、の方が第1の光導波路13、よりも第1の導波路長差 ΔL_1 （＝第1の光路長差）だけ長く、第2の方向性結合部14、と第3の方向性結合部14、の間では、第1の光導波路13、の方が第2の光導波路13、よりも第2の導波路長差 ΔL_2 （＝第2の光路長差）だけ長く、第3の方向性結合部14、と第4の方向性結合部14、の間では、第2の光導波路13、の方が第1の光導波路13、よりも第3の導波路長差 ΔL_3 （＝第3の光路長差）だけ長く、第4の方向性結合部14、と第5の方向性結合部14、の間では、第1の光導波路13、の方が第2の光導波路13、よりも第4の導波路長差 ΔL_4 （＝第4の光路長差）だけ長くなっている。ここで、第1乃至第4の導波路長差 $\Delta L_1 \sim \Delta L_4$ はそれぞれ、等しいかほぼ等しくなるように設定されている。

【0023】なお、前記各導波路長差 $\Delta L_1 \sim \Delta L_4$ は、その値を適宜選ぶことにより、各種の周波数帯の光合分波が可能となる。

【0024】（2）各方向性結合部14、14、

第1乃至第4の方向性結合部14、14、は、第1の光導波路13、と第2の光導波路13、とを数μm程度の間隔に保ちながら、数100μmの距離にわたって互いに平行に配置することによりそれぞれ構成されている。また、第1の方向性結合部14、の結合率と第5の方向性結合部14、の結合率とはほぼ等しくなるように設定されており、第2の方向性結合部14、の結合率と第4の方向性結合部14、の結合率とはほぼ等しくなるように設定されている。

【0025】（3）各薄膜ヒータ15、15、

第1乃至第8の薄膜ヒータ15、15、はそれぞれ、石英系光導波路の熱光学効果を利用して光路長差を微調するための位相制御器として機能するものである。なお、他の手段により、導波路型光合分波器10自体の温度の安定化が図れる場合には、第1乃至第8の薄膜ヒータ15、15、は不要である。

【0026】次に、導波路型光合分波器10の構成について、図2乃至図4を参照して説明する。

【0027】導波路型光合分波器10は、図2に等価的に示すように、第1の基本構成回路20₁と第2の基本構成回路20₂とが回路の中心点(第3の方向性結合部14₃)に対して光学的にほぼ点対称に配置されるよう構成されている。ここで、第1の基本構成回路20₁と第2の基本構成回路20₂とはそれぞれ、3個の方向性結合部34₁~34₃からなる図3に示すような非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器30と光学的に等価なものであるため、第1の基本構成回路20₁と第2の基本構成回路20₂もまたそれぞれ、図4に示すような非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器40を2個

光学的にほぼ点対称に配置した構成を有するものであるといえる。
【0028】したがって、図1に示した導波路型光合分波器10は、図4に示した非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器40を2回だけ光学的にほぼ点対称に配置して合成した構成を有するものであるといえるため、以下の関係が成り立つ。

(1) 第1乃至第4の導波路長差 $\Delta L_1 \sim \Delta L_4$ はそれぞれ、等しいかほぼ等しい。

(2) 図4に示した第1の方向性結合部44₁の結合率をsとし、第2の方向性結合部44₂の結合率をtとすると、図1に示した第1の方向性結合部14₁の結合率はs、第2の方向性結合部14₂の結合率は2t、第3の方向性結合部44₃の結合率は2s、第4の方向性結合部44₄の結合率は2t、第5の方向性結合部14₅の結合率はsとなる。

【0029】一般に、光学的に点対称配置を有する光回路は、基本構成回路の回路特性より全体の回路の透過特性が決定される。いま、第1の光導波路13₁の図1図示左端を信号光P_{in}の入力ポート16とし、第1の光導波路13₁の同図図示右端を出力ポート(以下、「スルーポート」と称する。)17₁とし、第2の光導波路13₂の同図図示右端を出力ポート(以下、「クロスポート」と称する。)17₂とし、図2に示した第1の基本構成回路20₁の入力ポート16から第2の光導波路13₂への光強度透過度をT₂とすると、導波路型光合分波器10全体の入力ポート16からクロスポート17₂への光強度透過度T_{cross}は、

$$T_{cross} = 1 - (1 - 2 \times T_2)^2 \quad (1)$$

と表される。(1)式より、以下のことがわかる。

【0030】T₂=0のとき、T_{cross}=0

T₂=1のとき、T_{cross}=0

T₂=0.5のとき、T_{cross}=1

また、T₂≒0.5のとき、(1)式の右辺のかっこ内は、“0”に近い値となるが、かっこ式に二乗がかかっているために、光強度透過度T₂が“0.5”より若干離れたところでもほとんど“0”に近い値となる。すなわち、この二乗項のために、光強度透過度T₂が“0.5”付近の周波数帯において、導波路型光合分波器10

全体の入力ポート16からクロスポート17₂への光強度透過度T_{cross}はほぼ“1”となる。本発明による導波路型光合分波器は、この原理を利用して平坦特性を実現するものである。

【0031】図5(A)、(B)、(C)はそれぞれ、図4に示した非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器40、図3に示した非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器30および図1に示した導波路型光合分波器10における光強度透過度T_{cross}の周波数依存性を示すグラフである。このグラフより、以下に示すことがわかる。

(1) 図5(A)に示すように、図4に示した非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器40では、光強度透過度T_{cross}は周波数に対して正弦関数的に変化し、光強度透過度T_{cross}の最小値はほぼ“0.5”である。

(2) 図5(B)に示すように、図3に示した非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器30では、光強度透過度T_{cross}は、光強度透過度T_{cross}が“1”となる付近で平坦領域が得られている。これは、上記(1)式で説明したように、光学的に点対称配置を有する光回路では、T₂≒0.5のときに光強度透過度T_{cross}がほぼ“1”となる性質からである。また、図3に示した非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器30での光強度透過度T_{cross}の最小値もまたほぼ“0.5”である。

(3) 図5(C)に示すように、図1に示した導波路型光合分波器10では、光強度透過度T_{cross}は、“0”および“1”となる付近で平坦領域が得られている。これは、上記(1)式で説明したように、光学的に点対称配置を有する光回路では、T₂=1のときに光強度透過度T_{cross}が“0”となり、T₂≒0.5のときに光強度透過度T_{cross}がほぼ“1”となる性質からである。

【0032】次に、図1に示した導波路型光合分波器10を試作した一例について説明する。

【0033】本試作例においては、火炎加水分解反応による公知のガラス膜堆積技術と反応性イオンエッチングによる公知の微細加工技術との組み合わせにより、導波路型光合分波器10を試作した。この作成手法では、フォトリソグラフィ技術が利用可能であるため、第1の光導波路13₁および第2の光導波路13₂の導波路長を0.1μm以下の精度で作成することができる。

【0034】図6に、導波路型光合分波器10全体の入力ポート16からスルーポート17₁への光強度透過度T_{through}および入力ポート16からクロスポート17₂への光強度透過度T_{cross}の周波数依存性の実測結果を示す。

【0035】この実測結果では、入力ポート16からスルーポート17₁への光強度透過度T_{through}と入力ポート16からクロスポート17₂への光強度透過度T_{cross}とにおいて若干特性が異なるが、ともに平均2G

Hzの周波数領域で平坦領域が得られている。

【0036】なお、本実施例の導波路型光合分波器10では、第1の方向性結合部14、と第2の方向性結合部14、との間では、第2の光導波路13、の方が第1の光導波路13、よりも第1の導波路長差 ΔL_1 、だけ長く、第2の方向性結合部14、と第3の方向性結合部14、との間では、第1の光導波路13、の方が第2の光導波路13、よりも第2の導波路長差 ΔL_2 、だけ長く、第3の方向性結合部14、と第4の方向性結合部14、との間では、第2の光導波路13、の方が第1の光導波路13、よりも第3の導波路長差 ΔL_3 、だけ長く、第4の方向性結合部14、と第5の方向性結合部14、との間では、第1の光導波路13、の方が第2の光導波路13、よりも第4の導波路長差 ΔL_4 、だけ長くした。しかし、逆に、第1の方向性結合部14、と第2の方向性結合部14、との間では、第1の光導波路13、の方が第2の光導波路13、よりも第1の導波路長差 ΔL_1 、だけ長く、第2の方向性結合部14、と第3の方向性結合部14、との間では、第2の光導波路13、の方が第1の光導波路13、よりも第2の導波路長差 ΔL_2 、だけ長く、第3の方向性結合部14、と第4の方向性結合部14、との間では、第1の光導波路13、の方が第2の光導波路13、よりも第3の導波路長差 ΔL_3 、だけ長く、第4の方向性結合部14、と第5の方向性結合部14、との間では、第2の光導波路13、の方が第2の光導波路13、よりも第4の導波路長差 ΔL_4 、だけ長くしても、同様の特性が得られる。

【0037】図7は、本発明の導波路型光合分波器の第2の実施例を示す平面図である。

【0038】本実施例の導波路型光合分波器70は、図1に示した第3の方向性結合部14、の代わりに、第3の方向性結合部14、の結合率の半分の結合率を有する第6の方向性結合部74、と、第3の方向性結合部14、の結合率の半分の結合率を有する第7の方向性結合部74、とを含み、かつ、第6の方向性結合部74、と第7の方向性結合部74、との間では、第1の光導波路73、の導波路長と第2の光導波路73、の導波路長とが等しいかほぼ等しい点で、図1に示した第1の実施例の導波路型光合分波器10と異なる。

【0039】すなわち、等しい光路長（導波路長）を有する2本の光導波路をそれぞれ伝搬する2つの光波を考えたとき、各光波の位相差は、一般に、伝搬距離に関係なく一定に保たれる。光の干渉現象は2つの光波の位相差を利用して生じる現象であるため、2本の光導波路の光路長（導波路長）をどのような長さにとっても、光路長差（導波路長差）が一定であれば、全体の干渉現象すなわち光合分波特性は変わらない。したがって、図1に示した第3の方向性結合部14、を第6の方向性結合部74、と第7の方向性結合部74、とに分け、第6の方向性結合部74、と第7の方向性結合部74、との間の

第1の光導波路73、の導波路長と第2の光導波路73、の導波路長とを等しくまたはほぼ等しくしても、光合分波特性は変わらない。

【0040】以上の理由により、本実施例の導波路型光合分波器70においても、図1に示した第1の実施例の導波路型光合分波器10と同様の光合分波特性が得られる。実際に、導波路型光合分波器70全体の入力ポート76からクロスポート77、への光強度透過度 T_{cross} の周波数依存性を実測した結果、図6とほぼ同じ透過特性が得られた。

【0041】以上の説明において、光学的に点対称配置とは、幾何学的に点対称であるという意味ではない。すなわち、光学的には、光波が同様な干渉効果をもつような回路は同一とみなされるため、トポロジカルに同一であり、対応する光導波路の光路長差および対応する方向性結合部の結合率が同じである2つの回路は、光学的に同一回路とみなされる。

【0042】光導波路として、シリコン基板上に形成した石英系単一モード光導波路を用いたが、本発明の導波路型光合分波器はこれに限定されるものではなく、他の材料系の光導波路でも適用対象となる。たとえば、多成分ガラス基板やニオブ酸リチウム結晶基板上に金属イオン拡散技術により形成したイオン拡散光導波路でもよい。

【0043】シリコン基板上に個別に光合分波器が形成されている例を示したが、同一基板上に多数個の光合分波器がアレイ状に形成されている場合や、基板上や基板端部に受発光阻止を直接搭載するハイブリッド光集積回路の要素として、本発明の光合分波器を適用することができるというまでもない。

【0044】

【発明の効果】本発明は、上述したとおり構成されているため、次に示す効果を奏する。

【0045】第1の光導波路と第2の光導波路との中間部が5箇所互いに近接されて順次形成された第1乃至第5の方向性結合部を含み、第1の基本構成回路と第2の基本構成回路とが回路の中心点（第3の方向性結合部14、）に対して光学的にほぼ点対称に配置されるよう構成されていることにより、リング路を用いることなく、光強度透過度が“1”となる周波数帯および“0”となる周波数帯を平坦化することができるため、高速性を損なうことなく透過特性の改善が図れる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の導波路型光合分波器の第1の実施例を示す平面図である。

【図2】図1に示した導波路型光合分波器を光学的に等価に表した図である。

【図3】図2に示した基本構成回路と光学的に等価な非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器を示す平面図である。

【図4】図3に示した非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器の構成を説明するための非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器を示す平面図である。

【図5】入力ポートからクロスポートへの光強度透過度の周波数依存性を示すグラフであり、(A)は図4に示した非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器の場合のグラフ、(B)は図3に示した非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器の場合のグラフ、(C)は図1に示した導波路型光合分波器の場合のグラフである。

【図6】図1に示した導波路型光合分波器の一試作例における入力ポートからクロスポートへの光強度透過度の周波数依存性の実測結果を示すグラフである。

【図7】本発明の導波路型光合分波器の第2の実施例を示す平面図である。

【図8】従来の代表的な導波型光合分波器の一つであるマッハツェンダ光干渉計型光合分波器の一例を示す平面図である。

【図9】図8に示したマッハツェンダ光干渉計型光合分波器における信号光 P_{in} に対する信号光 P_{cross} の光強度透過度および信号光 P_{in} に対する信号光 $P_{through}$ の光強度透過度の周波数依存性の一例を示すグラフである。

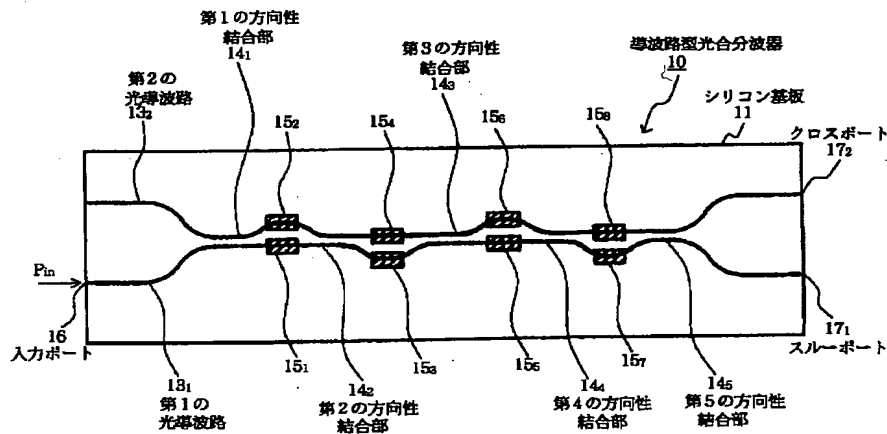
【図10】図8に示したマッハツェンダ光干渉計型光合分波器における問題の解決が図れる導波型光合分波器の一つとして提案されているマッハツェンダ光干渉計型光合分波器を示す平面図である。

【図11】図10に示したマッハツェンダ光干渉計型光合分波器における信号光 P_{in} に対する信号光 P_{cross} の光強度透過度の周波数依存性の一例を示すグラフである。

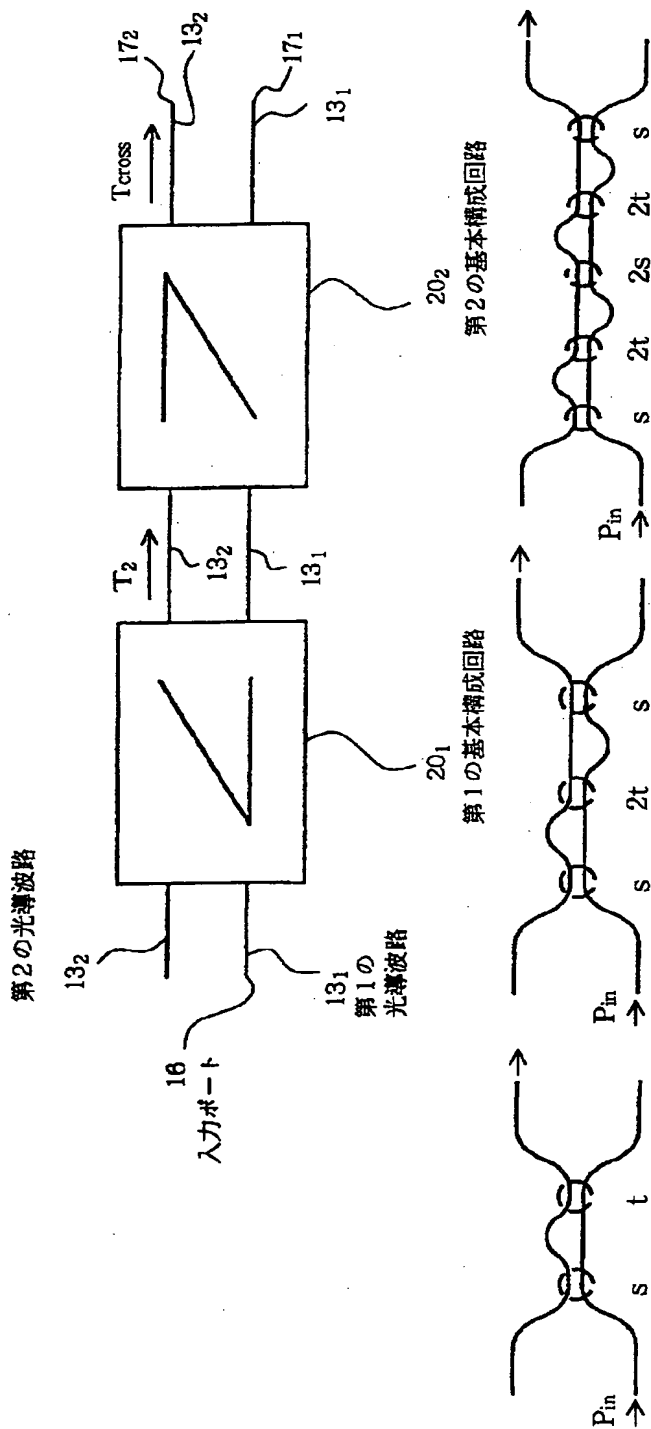
*【符号の説明】

10, 70	導波路型光合分波器
11, 71	シリコン基板
13 ₁ , 33 ₁ , 43 ₁ , 73 ₁	第1の光導波路
13 ₂ , 33 ₂ , 43 ₂ , 73 ₂	第2の光導波路
14 ₁ , 34 ₁ , 44 ₁ , 74 ₁	第1の方向性結合部
14 ₂ , 34 ₂ , 44 ₂ , 74 ₂	第2の方向性結合部
14 ₃ , 34 ₃	第3の方向性結合部
14 ₄ , 74 ₄	第4の方向性結合部
14 ₅ , 74 ₅	第5の方向性結合部
15 ₁ , 35 ₁ , 45 ₁ , 75 ₁	第1の薄膜ヒータ
15 ₂ , 35 ₂ , 45 ₂ , 75 ₂	第2の薄膜ヒータ
15 ₃ , 35 ₃ , 75 ₃	第3の薄膜ヒータ
15 ₄ , 35 ₄ , 75 ₄	第4の薄膜ヒータ
15 ₅ , 75 ₅	第5の薄膜ヒータ
15 ₆ , 75 ₆	第6の薄膜ヒータ
15 ₇ , 75 ₇	第7の薄膜ヒータ
15 ₈ , 75 ₈	第8の薄膜ヒータ
16, 76	入力ポート
17 ₁ , 77 ₁	スルーポート
17 ₂ , 77 ₂	クロスポート
20 ₁	第1の基本構成回路
20 ₂	第2の基本構成回路
30, 40	非対称マッハツェンダ光干渉計型光合分波器
74 ₆	第6の方向性結合部
74 ₇	第7の方向性結合部
P_{in}	信号光
$T_{through}$, T_{cross} , T_s	光強度透過度
*30 s, t, 2t	結合率

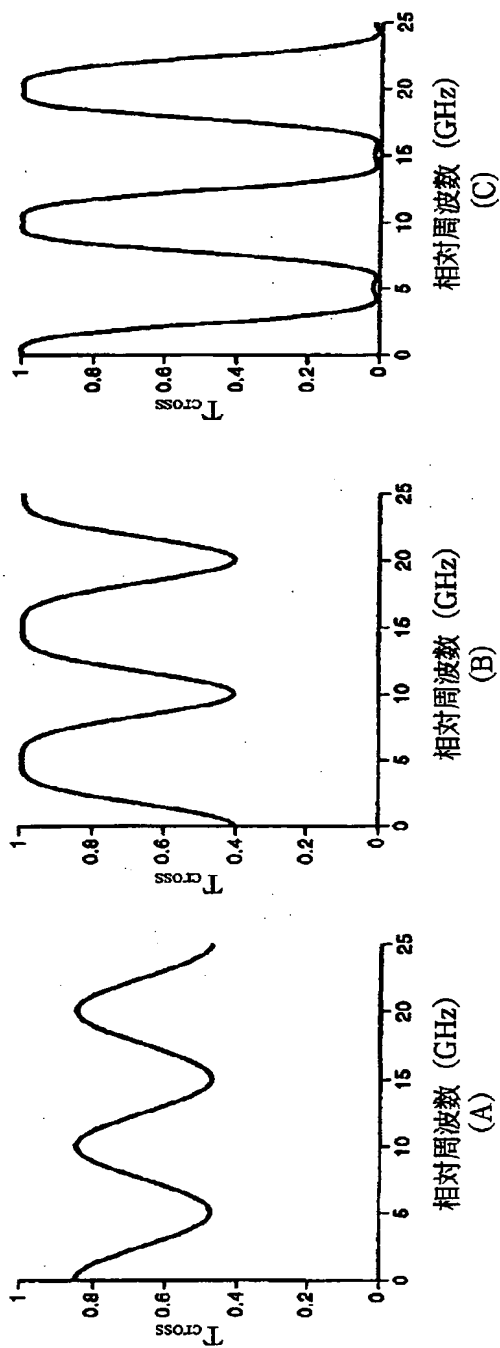
【図1】



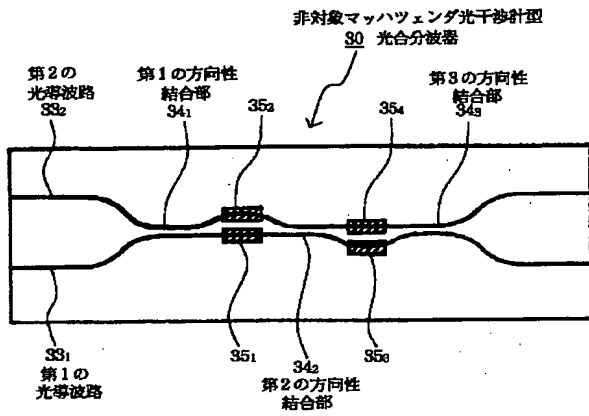
【図2】



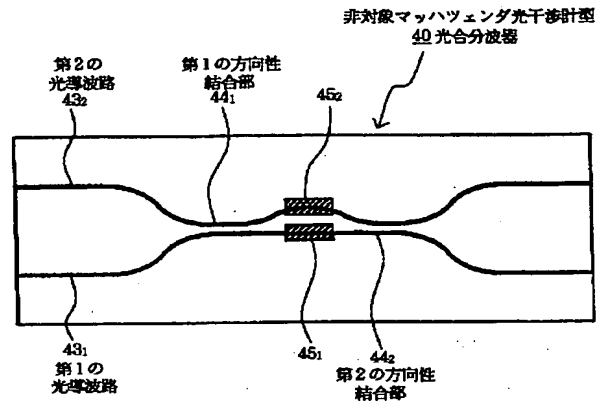
【図5】



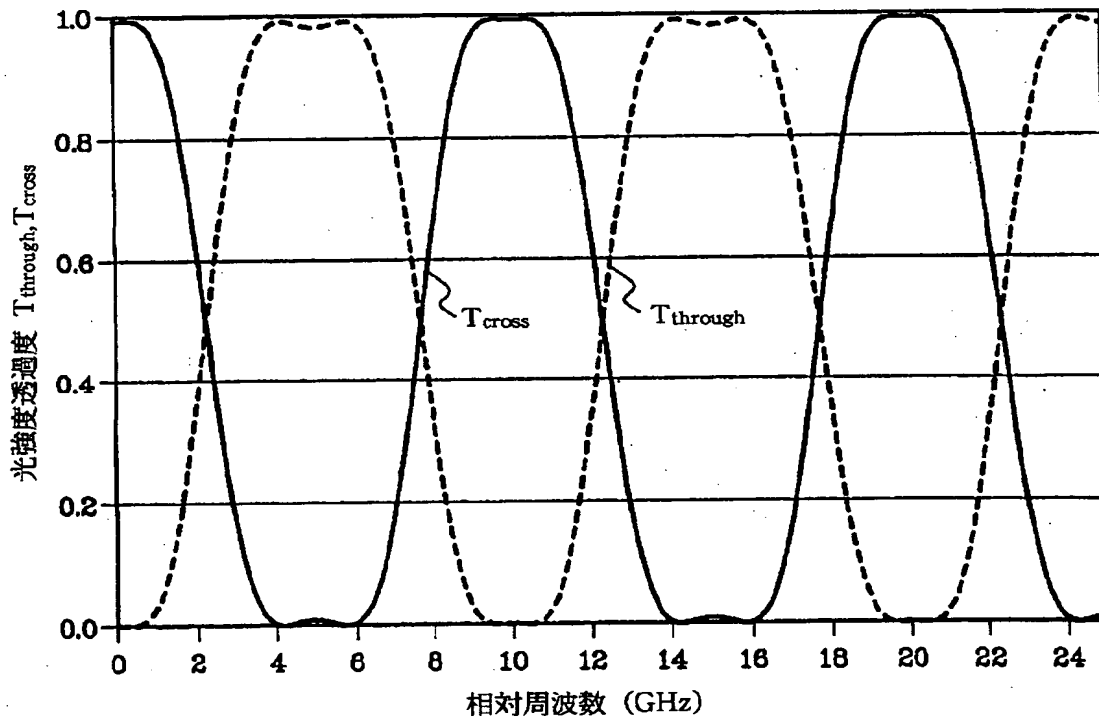
【図3】



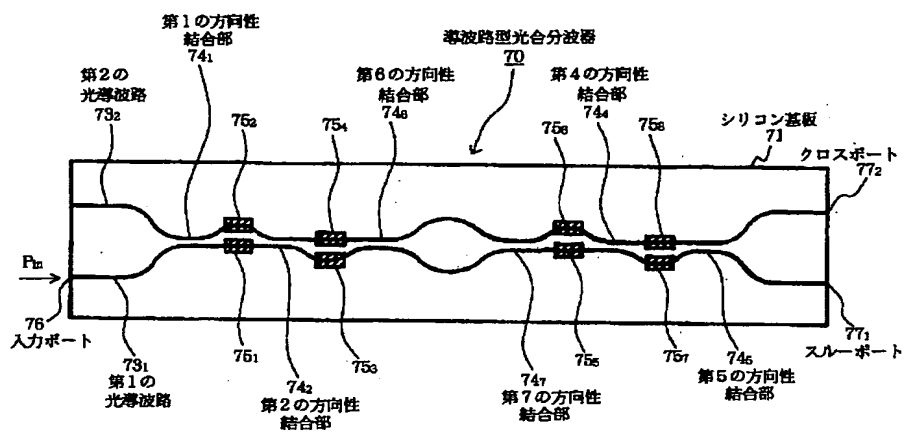
【図4】



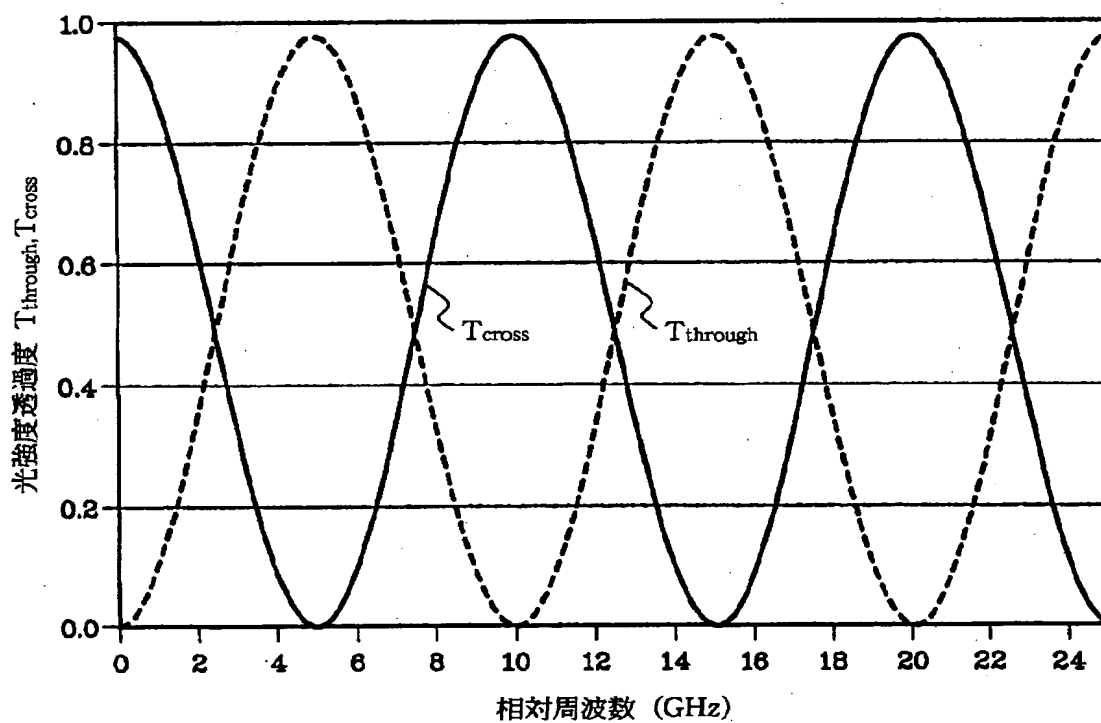
【図6】



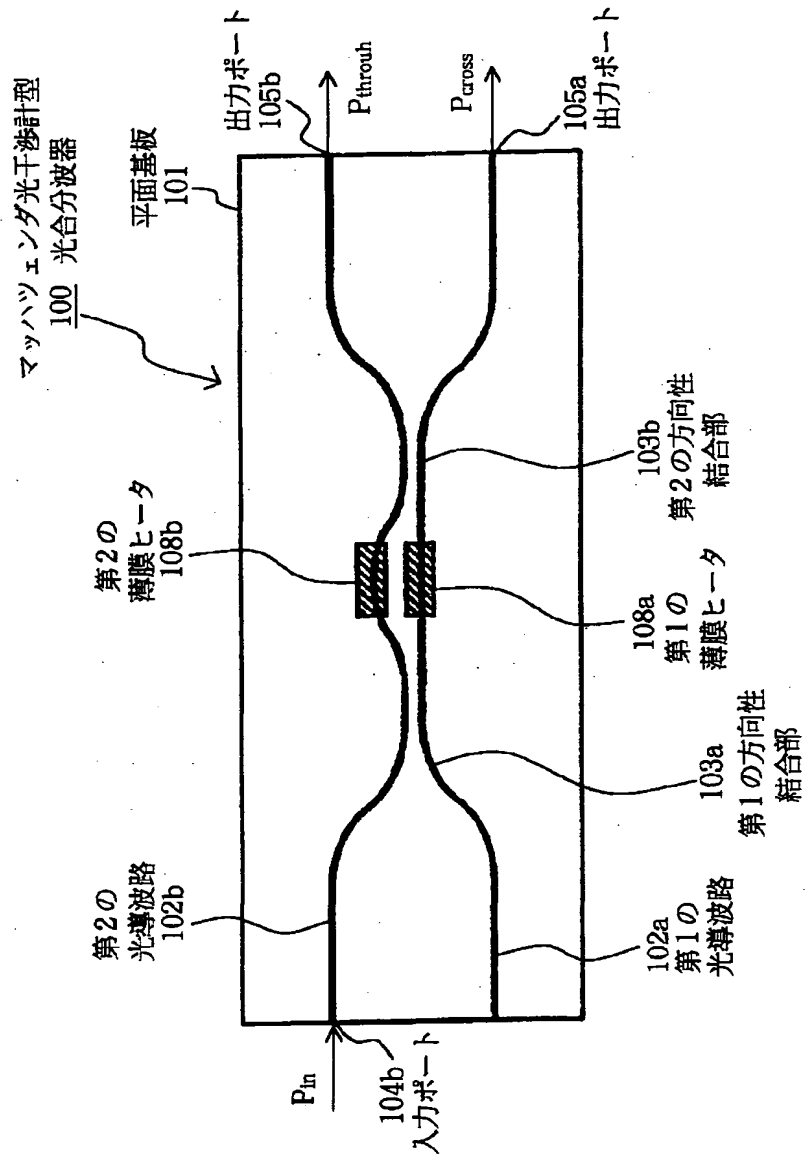
【図7】



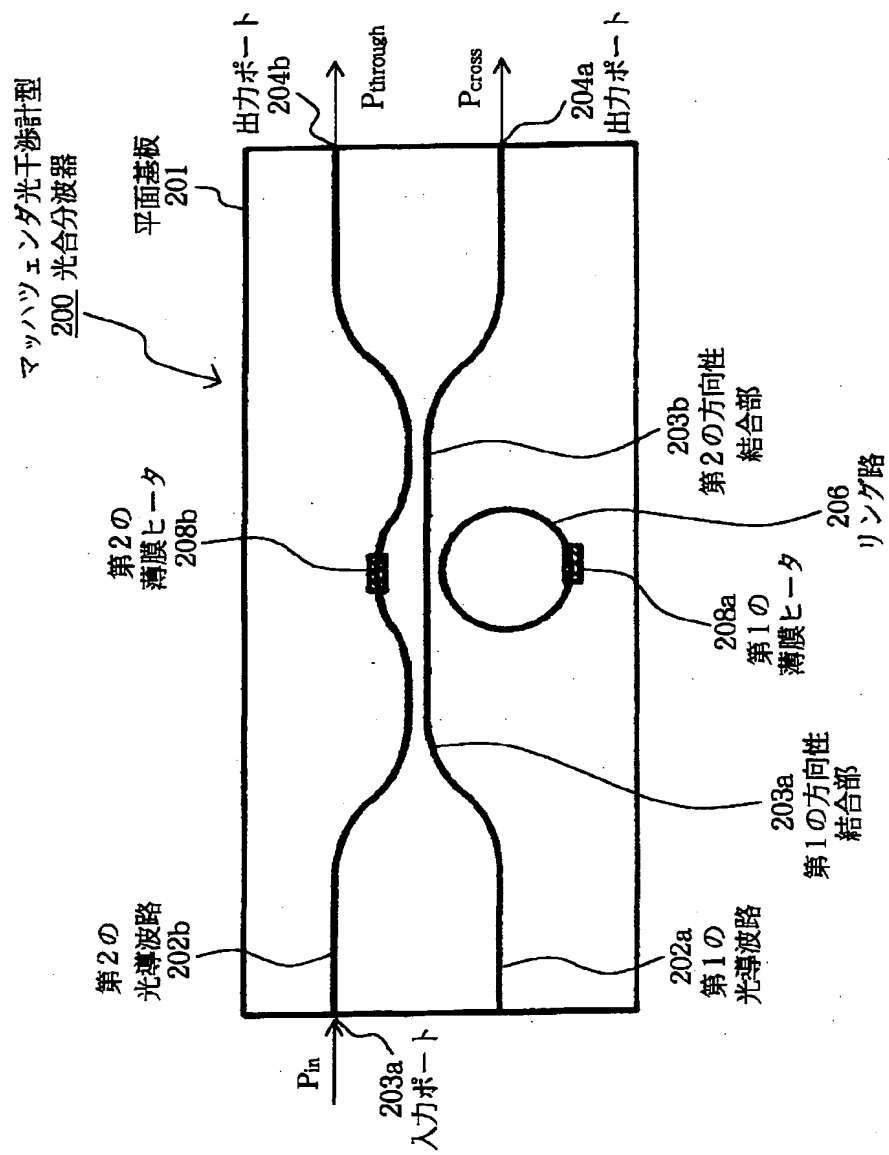
【図9】



【図8】



【図10】



【図11】

